



УДК 528.88

СПЕКТРАЛЬНЫЕ ОТРАЖАТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ (ПО МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ)¹

Э.А. Терехин

Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет, Россия, 308015,
г. Белгород, ул. Победы, 85

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

Представлены результаты анализа спектральных свойств различных видов сельскохозяйственных культур, произрастающих на территории Белгородской области, полученные по данным многозональной космической съемки Landsat TM. Исследована возможность и предложены подходы дешифрирования сельскохозяйственных культур основе их спектральных признаков.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спектральные свойства, сельскохозяйственная растительность, классификация спектральных яркостей.

Введение

Одними из ключевых задач сельского хозяйства являются оценка состояния культур, их урожайности, площадей, находящихся под ними. Материалы многозональной спутниковой съемки представляют сведения о спектральном отклике растительности, который в свою очередь связан с состоянием посевов и особенностями их вегетации. Применение спутниковых материалов для оценки состояния растительности требует исследования ее спектрального отклика. В связи с многообразием сельскохозяйственных культур, своеобразием их спектральных отражательных свойств, значительно изменяющимися в течение одного вегетационного сезона, возникает необходимость решения ряда задач по применению спутниковых данных в целях оценки и картографирования сельскохозяйственной растительности. К таким задачам относятся анализ кривых спектрального образа отдельных видов растительности, анализ делимости культур на снимке по спектру отражения, оценка возможности дешифрирования конкретной культуры среди других в условиях сложного спектрального отклика.

Актуальность оценки состояния посевов по данным спутниковой съемки обуславливает активное исследование этой проблемы [1, 2, 3]. Наиболее широко используются для этой цели материалы многозональной съемки, сделанные системой MODIS, характеризующейся значительным количеством каналов (36) и высокой оперативностью – до 2-х раз в сутки. На основе данных, сделанных этой системой, успешно исследованы разноплановые вопросы спутникового мониторинга сельскохозяйственных культур [4, 5, 6]. Однако низкое пространственное разрешение этих снимков, составляющее 250 м для красного и ближнего инфракрасного каналов, и 500-1000 м для остальных спектральных диапазонов существенно снижает информативность данных, когда возникает необходимость картографирования культур на уровне административных районов субъектов Российской Федерации. Применение данных MODIS ограничено в районах с преобладанием небольших полей, размером менее нескольких сотен гектар. По этой причине спутниковые данные, полученные этой аппаратурой, применяются совместно с материалами съемки с других сенсоров, обладающих, как правило, меньшей частотой съемки, но более высоким пространственным разрешением. К таким сенсорам в первую очередь относится Landsat TM5 с пространственным разрешением 30 м/пиксель. Данный сенсор позволяет исследовать спектральный отклик полей практически любых размеров, а наличие 6 каналов с разрешением 30 м/пиксель позволяют более детально анализировать спектр растений по сравнению с данными MODIS, в ущерб оперативности. Снимки Landsat успешно зарекомендовали себя в различных направлениях мониторинга и оценки природных сред и могут быть успешно использованы для анализа растительного покрова на региональном и субрегиональном уровнях [7, 8, 9, 10]. Они могут применяться как совместно с данными других сенсоров, так и самостоятельно для оценки состояния растительности. Данные Landsat TM целесообразно исполь-

¹ Работа выполнена по проекту «Проведение поисковых НИР по направлению «География и гидрология суши» мероприятия 1.2.1 ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 гг.» (№ П743).

зовать в задачах детальной оценки площадей и состояния сельскохозяйственных культур на уровне административных районов областей.

Цель настоящего исследования заключалась в оценки спектрального отклика сельскохозяйственных культур, типичных для Белгородской области, а также возможности их картографирования на период съемки.

Материал и методы исследования

Спектральные свойства растительности существенно изменяются с длиной волны оптического диапазона. Одновременно, растительные культуры по-разному отражают солнечное излучение. Неоднородность отражения в разных участках спектра обусловлена структурой и составом растительных тканей, особенно пигментацией и влагосодержанием. В связи с этим встает необходимость анализа спектрального отклика растительных культур. В настоящей работе спектральный отклик сельскохозяйственной растительности был исследован по материалам съемки Landsat TM на территории полей Ивнянского района Белгородской области (рис. 1).

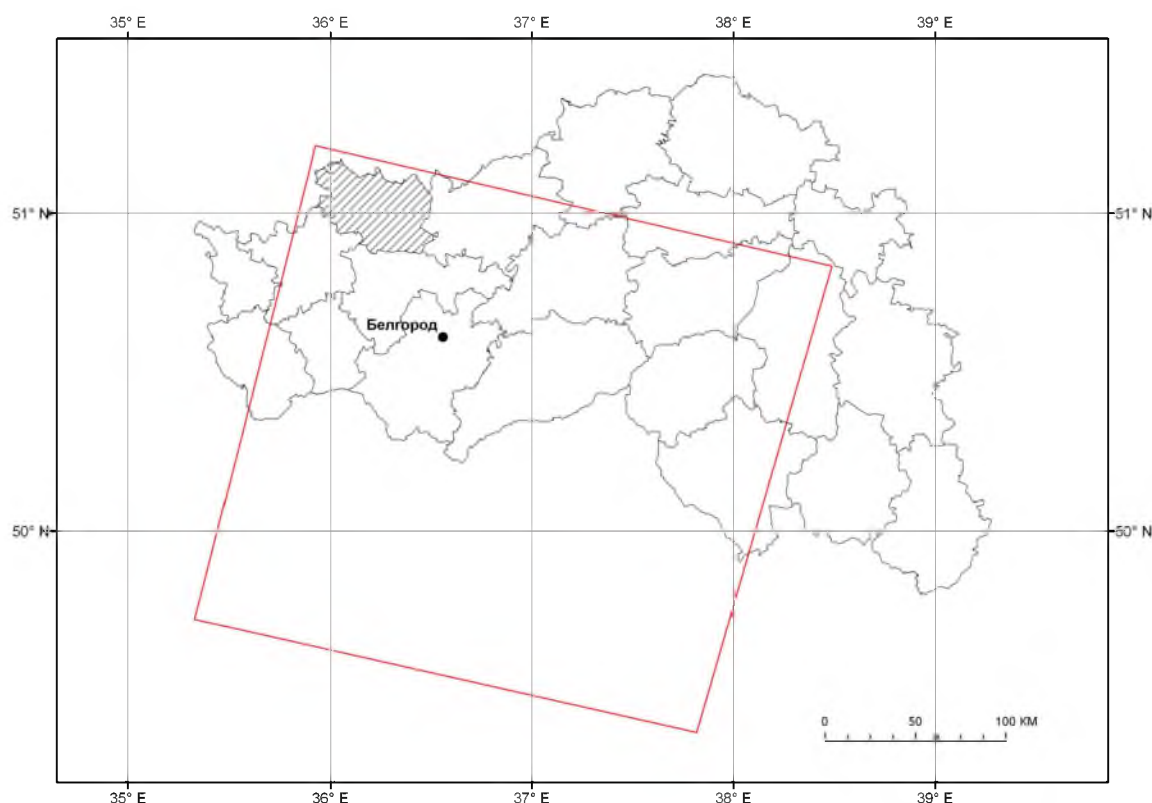


Рис. 1. Расположение территории исследования и спутниковой сцены Landsat TM в пределах Белгородской области

Были проанализированы спектральные отражательные способности следующих культур: ячмень яровой, озимая пшеница, многолетние травы, кукуруза, подсолнечник.

Для анализа спектра отражения сельскохозяйственных культур был использован снимок Landsat TM 5, полученный 2 июня 2011 г. Координаты сцены в мировой системе координат WRS-2: Path 177, Row 25 (177 колонка, 25 ряд).

Дата съемки была выбрана исходя из следующих критериев:

- 1) отражательные характеристики растительных культур должны максимально различаться, что характерно для периода конца мая – первой половины июня;
- 2) на снимке должна отсутствовать облачность;
- 3) проективное покрытие большинства растительных культур на полях должно быть выше 50-60%, чтобы отражательные свойства почвы не вносили свои особенности в отражательный спектр. Стоит отметить, что это требование было осуществить проблематично, т.к. остальные снимки Landsat, сделанные в ближайшее время, имели очень высокий процент облачности.

Экспериментальная часть исследования проводилась в три этапа.

Первый этап был направлен на сопоставление космического снимка с наложенным на него векторным слоем сельскохозяйственных полей, общие характеристики которых приведены в таблице 1.

Таблица 1
**Количество и площади полей
под сельскохозяйственными культурами**

Культура	Количество полей	Площадь, га
Ячмень яровой	18	1556.5
Пшеница озимая	60	4781.2
Подсолнечник	27	2570.3
Многолетние травы	34	2970.0
Кукуруза	45	4092.2
Итого	184	15970.2

ний сельскохозяйственных культур в рабочих комбинациях каналов снимка вместе с их фотографиями, полученными в ходе наземных обследований.

Второй этап – исследование делимости сельскохозяйственных культур в различных спектральных диапазонах снимка. Делимость оценивали на основе кривых спектральной яркости (КСЯ). Рисунок 2 характеризует КСЯ некоторых типов растительности, а также вспаханных полей на начало июня.

Рисунок позволяет сделать предварительный вывод, что такие культуры, как озимая пшеница, многолетние травы и подсолнечник будут достоверно различаться между собой при их дешифрировании в 4, 5 и 7-м каналах снимка (6-й канал не используется по причине низкого пространственного разрешения, несмотря на высокую делимость КСЯ культур).

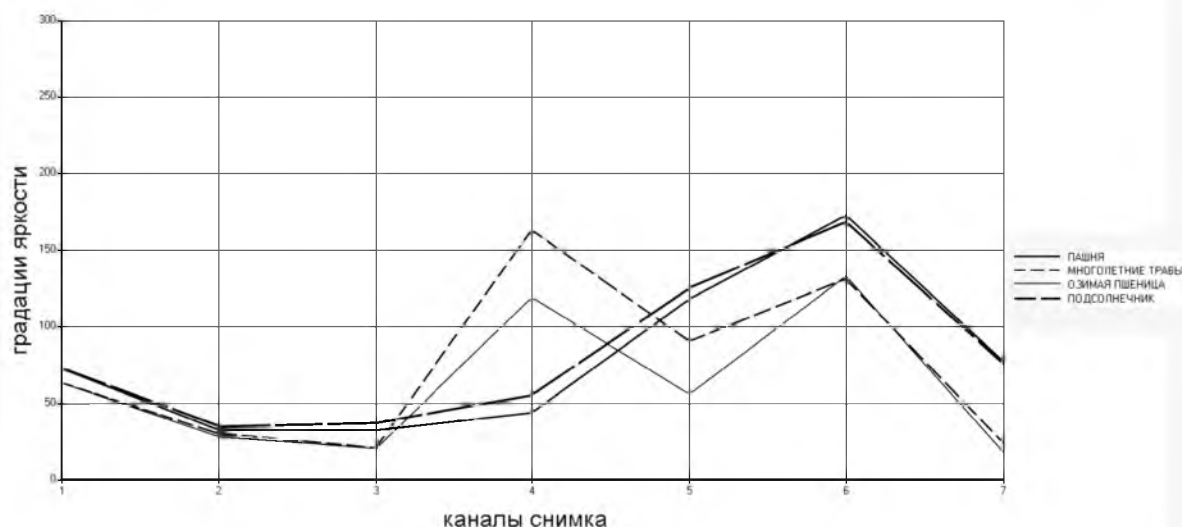


Рис. 2. Кривые спектральной яркости сельскохозяйственных культур

Спектральный отклик подсолнечника и кукурузы на анализируемый период времени близок к спектру вспаханной почвы, что указывает на относительно невысокое проективное покрытие этих культур, не исключая при этом возможности их дешифрирования на фоне остальных типов растительности.

Третий этап – заключался в создании спектральных эталонов, проведении классификации с обучением и оценке достоверности выделения культур.

С целью повышения эффективности дешифрирования нами предложено проводить контролируемую классификацию не по всему пространству снимка, а в границах предварительно привязанной к нему векторной маски сельскохозяйственных полей. Проведение классификации таким способом позволило значительно повысить эффективность дешифрирования, т.к. из анализа исключаются спектральные характеристики естественной растительности, а также других объектов, спектр отражения которых аналогичен спектру сельскохозяйственных культур.



Результаты и их обсуждение

Результаты визуального анализа сельскохозяйственной растительности на космическом снимке показали, что для большинства культур целесообразно создавать не один, а несколько спектральных эталонов, соответствующих различным категориям культур. Выделение категорий внутри культур обусловлено тем, что конкретный тип растительности, например, озимая пшеница, в зависимости от фазы ее вегетационного развития, проективного покрытия может давать различный спектральный отклик. По этой причине для озимой пшеницы нами выделено 3 категории, для подсолнечника и многолетних трав – по 2 категории (Таблица 2). Выделение категорий внутри многолетних трав обусловлено тем, что при их скашивании спектральные отражательные признаки поля существенно изменяются.

Таким образом, для 5 культур было подготовлено 9 спектральных эталонов, обусловленных внутренним разнообразием отражательных особенностей каждой из них.

Таблица 2

Характеристики отображения анализируемых культур на космическом снимке Landsat TM5. Комбинация каналов 7-5-3

Культура	Категория/ номер эталона		Особенности отображения на космическом снимке
Ячмень яровой	1	1	Характерные признаки, но в определенной степени схожие с яркостями озимой пшеницы, имеющей высокое проективное покрытие
Пшеница озимая	1	2	Первая категория – с очень высоким (около 100%) проективным покрытием
	2	3	Вторая категория – с высоким проективным покрытием имеет характерные отличительные признаки
	3	4	Третья категория – с невысоким проективным покрытием. Смешиваются спектральные признаки пшеницы и обнаженной почвы
Подсолнечник	1	5	С невысоким проективным покрытием – яркостные признаки незначительно отличаются от вспаханных почв
	2	6	С очень низким проективным покрытием – признаки, аналогичные признакам вспаханных почв
Многолетние травы	1	7	Первая категория – с высоким проективным покрытием имеет характерные отличительные признаки
	2	8	Вторая категория – территории, где недавно проводилось скашивание – значительно отличные от предыдущей категории, характерные признаки
Кукуруза	1	9	По причине невысокого проективного покрытия спектральные признаки близки к спектру обнаженных почв

Успешность дешифрирования сельскохозяйственных культур, как и любых других типов объектов, зависит от решения следующих задач:

1. Достоверного знания расположения культур на снимке и представления об их реальном состоянии.
2. Создания надежных эталонов спектральных признаков.
3. Предварительного преобразования снимка с целью достижения более высокой степени различия спектрального отклика культур и выборе наилучшего способа классификации спектральных яркостей.

Использование для классификации не исходного, а преобразованного снимка, например картограммы спектрального индекса, может существенно повысить качество дешифрирования. Для сравнения нами проводилось дешифрирование как исходного снимка, так и снимка, преобразованного по методу главных компонент. Следует отметить, что выбор спектрального преобразования снимка, позволяющего повысить точность дешифрирования конкретных культур – серьезная задача, которой следует посвятить отдельную статью.

Другой существенный момент – выбор правила классификации. В нашем случае проведение классификации по различным правилам (максимального правдоподобия, дистанции Махаланобиса, минимального расстояния) не показало значительных отличий. Использование для классификации изображения главных компонент, напротив, позволило существенно повысить точность дешифрирования (Таблица 3).



Таблица 3

Точность дешифрирования отдельных культур и их категорий

Культура	Категория / спектральный эталон		Число полей	Точность дешифрирования			
				Исходный снимок	%	Главные компоненты	%
Ячмень яровой	1	1	18	18	100.0	18	100.0
Пшеница озимая	1	2	25	7	28.0	1	4.0
	2	3	26	0	0.0	20	76.9
	3	4	9	0	0.0	8	88.9
Подсолнечник	1	5	9	7	77.8	8	88.9
	2	6	18	7	38.9	7	38.9
Многолетние травы	1	7	24	8	33.3	8	33.3
	2	8	10	7	70.0	7	70.0
Кукуруза	1	9	45	28	62.2	27	60.0
Итого	9	9	184	82	44.6	104	56.5

Представленные в таблице 3 результаты распознавания культур на снимке дают представление не только о точности дешифрирования отдельных культур и их категорий, но и об эффективности использования снимка, преобразованного по методу главных компонент. Графы «исходный снимок» и «главные компоненты» указывают число полей отнесенных к конкретной культуре.

На основе данных в таблице культуры можно разделить на группы по их точности дешифрирования (по точности классификации изображения главных компонент). Яровой ячмень дешифрируется максимально четко. Высокая точность дешифрирования характерна для озимой пшеницы с низким проективным покрытием и подсолнечника с высоким. Средней точностью характеризуется озимая пшеница с относительно высоким проективным покрытием, кукуруза с низким и территории, где недавно были скошены многолетние травы. Спектральный отклик густой озимой пшеницы и густых многолетних трав сильно перекрывается, что не позволяет достоверно проводить их распознавание.

Следует отметить, что все полученные результаты характерны для сроков начала июня. Как уже отмечалось, спектр отражения сельскохозяйственных культур очень изменчив на протяжении всего периода их вегетационного развития.

Говоря об эффективности применения метода главных компонент, из полученных результатов видно, что его использование особенно повышает точность выделения пшеницы со средним и относительно невысоким проективным покрытием на фоне остальных типов культур.

Выводы

Проведенное исследование позволило сформулировать следующие выводы.

1. При выполнении автоматизированного дешифрирования сельскохозяйственных культур в сроки конца мая – начала июня целесообразно создавать спектральные эталоны не просто для культуры, а для ее категорий в зависимости от стадии развития и состояния. Это обусловлено существенными различиями в их спектральном отклике. Например, для озимой пшеницы целесообразно выделять три категории в зависимости от ее проективного покрытия (на анализируемый период времени).

2. Преобразование космического снимка по методу главных компонент значительно повышает эффективность дешифрирования озимой пшеницы среди других анализированных культур, в стадии ее развития, когда она еще не создает полного проективного покрытия. Общая точность дешифрирования исходного снимка – 44.6%, преобразованного в главные компоненты – 56.5%.

3. Автоматизированное дешифрирование космического снимка Landsat TM, полученного в начале июня и преобразованного по методу первых трех главных компонент, выявило следующую точность дешифрирования сельскохозяйственных культур: ячмень яровой – 100%, пшеница озимая с низким, средним и высоким проективным покрытием – 88.9, 76.9 и 4%. Подсолнечник с высоким и низким проективным покрытием – 88.9% и 33.8%. Многолетние травы в стадии активного развития – 33.3%, территории, где недавно проводилось сенокошение многолетних трав – 70%, кукуруза с низким проективным покрытием – 60%, соответственно.



Список литературы

1. Абросимов А.В., Дворкин Б.А. Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России // Геоматика, 2009. – №4. – С.46-49.
2. Клещенко, А.Д. Технология ежедекадной оценки урожайности зерновых культур по спутниковой и наземной агрометеорологической информации/ А.Д. Клещенко, О.В. Савицкая // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т.8, №1 – С. 178-182.
3. Плотников, Д.Е. Экспериментальная оценка распознаваемости агрокультур по данным сезонных спутниковых измерений спектральной яркости/ Д.Е. Плотников, С.А. Барталев, В.О. Жарко, В.В. Михайлов, О.И. Просяникова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. – Т.8, №1 – С. 199-208.
4. Повх, В.И. Оценка условий зимовки зерновых культур по спутниковым данным для территории Ростовской области / В.И. Повх, Л.А. Шляхова, Е.А. Воробейчик // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2010. – Т.7, №3 – С. 264-268.
5. Савин, И.Ю. Оперативный спутниковый мониторинг состояния посевов сельскохозяйственных культур в России / И.Ю. Савин, С.А. Барталев, Е.А. Лупян // Геоматика, 2011. – №2. – С.69-76.
6. Терехов, А.Г. Оценка точности спутниковой технологии определения площади сельскохозяйственных масок в схеме с использованием снимков различного разрешения/ А.Г. Терехов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2009. – Т.6, №2 – С. 459-465.
7. Терехин, Э.А. Анализ каналов спутниковых данных LANDSAT TM для оценки характеристик лесных насаждений Лесостепной провинции Среднерусской возвышенности / Э.А. Терехин // Исследования Земли из космоса. – 2012. – №.2 – С. 1-10.
8. Терехин, Э.А. Исследование связи между спектральными отражательными свойствами лесных насаждений Белгородской области и их лесотаксационными параметрами / Э.А. Терехин. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: естественные науки. – 2010.– №. 21(92). Вып. 13. С.156-167.
9. Eklundh, L. Investigating relationships between Landsat ETM+ sensor data and leaf area index in a boreal conifer forest / L. Eklundh, L. Harrie, A. Kuusk // Remote Sensing of Environment. – 2001. – V. 78, №3. – P. 239-251.
10. Freitas, S. Relationships between forest structure and Vegetation indices in Atlantic Rainforest / S. Freitas, M. Mello, C. Cruz // Forest Ecology and Management. – 2005. – V, №1-3. – 218 – P. 353-362.

SPECTRAL REFLECTANCE PROPERTIES OF AGRICULTURAL VEGETATION OF BELGOROD REGION BASED ON REMOTE SENSING DATA

E.A. Terekhin

Belgorod State National Research University, Pobedy St., 85, Belgorod, 308015, Russia

E-mail: terekhin@bsu.edu.ru

The article presents the results of analysis of the spectral properties of different types of crops grown on the territory of Belgorod region obtained from the data of multispectral satellite imagery Landsat TM. The possibility is studied and the approaches are proposed for the interpretation of crops based on their spectral characteristics.

Key words: remote sensing, spectral properties, agricultural vegetation, spectral radiance classification.